بررسي رفتار كاهنده چرخه هاي هيسترزيس در تحليل استاتيكي غير خطي سازه هاي بتن آرمه با شكل پذيري متوسط

غلامرضا قدرتي اميري[i]; بنيامين محبي[ii]; حامد حميدي جمناني[iii]

چكيده

هدف تحقيق حاضر، بررسي اثرات كاهش سختي و مقاومت و باريك شدگي چرخه هاي هيسترزيس در تحليلهاي استاتيكي غير خطي مي‌باشد. يكي از معايب تحليل استاتيكي غيرخطي آن است كه تغييرات رفتار غيرخطي اجزاي سازه، كه به دليل حركات رفت و برگشتي به وجود مي‌آيد، بطور تقريبي در تحليل لحاظ مي‌شود. زيرا در اين روش فقط يك چهارم چرخه كامل هيسترزيس منظور مي‌شود. براي بررسي تأثير اين مسأله در نتايج تحليل از سه قاب بتني با شكل پذيري متوسط كه از ساختمانهاي منظم بتن مسلح انتخاب شده اند، استفاده مي‌شود. براي انجام تحليل استاتيكي غير خطي از روشهاي ذكر شده و مفاصل پلاستيك موجود در دستورالعمل FEMA-356 استفاده شده است. در روش ياد شده در اين دستورالعمل از ضريبي براي منظور كردن اثرات كاهش سختي و مقاومت استفاده شده است كه اين ضريب براي سازه هاي بتن مسلح با شكل پذيري متوسط برابر يك در نظر گرفته مي‌شود در اين طرح براي بدست آوردن ضريب مورد نظر از تحليل ديناميكي غير خطي استفاده شده است.

همچنين از چرخه‌هاي هسيترزيس كلاف، تاكدا و چرخه‌اي كه اثرات كاهش شديد مقاومت، سختي و باريك شدگي را لحاظ كند استفاده شده است. با مقايسه نتايج مقدار اين ضريب، ۲۵% بيشتر از عددي است كه در دستورالعمل FEMA-356 برآورد شده است.

كلمات كليدي

تحليل استاتيكي غير خطي –چرخه‌هاي هيسترزيس – تحليل ديناميكي غيرخطي – كاهش سختي و مقاومت.

Investigating Deterioration Effect of Hysteresis Loops in Nonlinear Static Analysis of Intermediate RC Moment Frame

G. Ghodrati Amiri; B. Mohebi; H. Hamidi Jamnani

ABSTRACT

This research investigates the effect of stiffness degradation, strength deterioration and pinching behavior of hysteresis loops in static nonlinear analysis. One of the inefficiencies of static nonlinear analysis is that nonlinear behavior of structural elements due to cyclic deformations is approximately considered in the analysis, and only one quarter of a full hysteretic loop is considered. For investigating the effect of this inefficiency in analysis results, three intermediate concrete moment frames from regular RC structures are selected. The performed procedures in FEMA-356 and proposed plastic hinges in this guideline are utilized for performing static nonlinear analysis. A coefficient for consideration of stiffness degradation and strength deterioration is proposed by FEMA-356 in nonlinear static analysis. This coefficient for intermediate RC

[i] استاد، قطب مطالعات بنيادي در مهندسي سازه، دانشكده مهندسي عمران، دانشگاه علم و صنعت ايران: Email: ghodrati@iust.ac.ir

[ii] دانشجوي دكتراي زلزله، دانشكده مهندسي عمران، دانشگاه علم و صنعت ايران: Email: mohebi@iust.ac.ir

[iii] كارشناس ارشد زلزله، دانشكده مهندسي عمران، دانشگاه علم و صنعت ايران: Email: civ_hamidi@yahoo.com

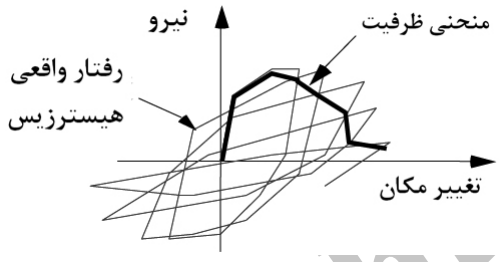
moment frames is equal to unity. For calculation of this coefficient, in this paper, the nonlinear dynamic analysis is used. Clough and Takeda Hysteretic loops and a hysteretic loop that considers effects of severe stiffness degradation, strength deterioration and pinching are assumed in nonlinear dynamic analysis. Comparing final results lead to conclusion that revealed the value of this coefficient is obtained 25% more than the value proposed by FEMA-356.

KEYWORDS

Nonlinear static analysis, Hysteresis loops, Nonlinear dynamic analysis, Stiffness degradation, strength deterioration.

۱- مقدمه

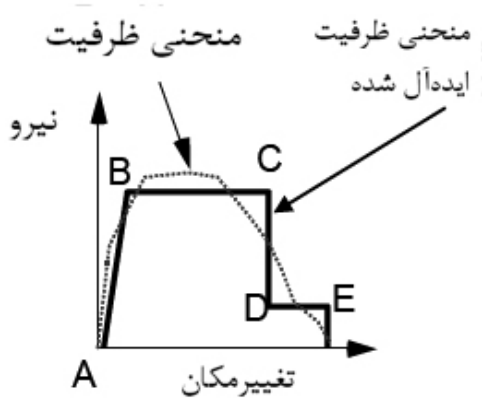
از زمان وقوع زلزله‌هاي ثبت شده، رفتار غيرخطي سازه‌ها مشخص شده و استفاده از تحليل‌هاي غيرخطي براي مشخص نمودن رفتار واقعي آن‌ها اجتناب ناپذير است. تحليل ديناميكي غيرخطي به عنوان ابزاري قدرتمند براي مطالعه پاسخ سازه ها در طي زلزله به كار مي‌رود. مجموعه اي از شتابنگاشت‌هايي كه به دقت انتخاب شده‌اند، مي‌توانند ارزيابي دقيقي از رفتار مورد انتظار و عملكرد لرزه‌اي سازه‌ها ارائه دهند. با قبول اين حقيقت كه دقت و كفايت ابزارهاي محاسبه همواره در حال افزايش است ولي هنوز هم محدوديتهايي براي استفاده عملي از تحليل ديناميكي غير خطي وجود دارد. از جمله اين محدوديتها مي‌توان به مشكل بودن تفسير نتايج و حساس بودن نتايج به شتابنگاشت انتخابي اشاره كرد، بطوريكه براي رسيدن به نتايج قابل اعتماد بايد از چند شتابنگاشت براي تحليل يك سازه استفاده كرد كه اين مسأله استفاده از اين نوع تحليل را براي مقاصد عملي تحليل و طراحي بسيار دشوار مي‌كند. به همين دليل در طي ساده سازي انجام تحليلهاي غيرخطي استفاده از تحليل استاتيكي غيرخطي يا تحليل پوش‌اور مندرج در ATC40[۳] وFEMA356[٤]، بسيار مرسوم شد. اين مساله به خوبي پذيرفته شده است كه اگر تحليل استاتيكي غيرخطي به درستي و با دقت انجام شود مي‌تواند اطلاعات مفيدي از وضعيت سازه ارائه كند كه روشهاي تحليل خطي يا تحليل ديناميكي قادر به ارائه آنها نيستند. در استفاده از تحليلهاي استاتيكي غيرخطي مدل‌سازي يكي از مهمترين مراحل تحليل است. اين مدل بايد توانايي در نظرگرفتن رفتار غيرخطي سازه يا عضوي از سازه را دارا باشد. چنين مدلي نياز به برآورد خواص غيرخطي اعضاء، كه به وسيله ظرفيتهاي مقاومت و تغييرشكل كمي‌سازي شده‌اند را دارد. تمركز تغييرشكلهاي غيرخطي در نقاطي از سازه روش متداول براي مدلسازي رفتار غيرخطي مي‌باشد. براي اين منظور نياز به تهيه منحني رفتاري نيرو، تغيير شكل اين مفاصل متمركز مي‌باشد. رفتار پلاستيك واقعي اعضا طي زلزله به صورت يك رفتار رفت و برگشتي مي‌باشد كه بعد از هر سيكل بارگذاري و باربرداري مشخصات منحني از قبيل سختي و يا مقاومت تغيير مي‌كند. از آنجا كه در تحليل استاتيكي غيرخطي،نيروي وارده به صورت رفت و برگشتي نمي‌باشد و به صورت افزاينده و درجهتي مشخص به سازه اعمال مي‌شود، لذا نياز به نوعي مدلسازي مي‌باشد كه بتواند تخمين مناسبي از رفتار رفت و برگشتي عضو ارائه دهد و به نوعي بتواند اثرات كاهش سختي و مقاومت را لحاظ نمايد. براي اين منظور همانطور كه در شكل (۱) نشان داده شده از منحني پوش رفتار هيسترزيس عضو استفاده مي‌شود و اين منحني پوش بصورت شكل (۲) ايده‌آل سازي مي‌شودكه مشخصات اين منحنيهاي ايده‌آل شده در دستورالعملهايي نظير FEMA-356[٤] بيان شده است.



شكل (۱): منحني پوش رفتار هيسترزيس

پس از تحليل، نيز نياز به برآورد ميزان تقاضاي سازه مورد نظر مي‌باشد كه اين برآورد مي‌تواند از روشهاي طيف ظريف و يا ضرايب ثابت بدست آيد. در روش دوم كه ميزان تقاضاي سازه با پارامتر تغيير مكان هدف بيان و مشخص مي‌شود، براي محاسبه اين مقدار از ضرايبي استفاده شده است كه يكي از اين ضرايب مربوط به لحاظ كردن ميزان كاهش سختي و كاهش مقاومت مي‌باشد. به دليل اينكه در تحليل استاتيكي غيرخطي، نيرو از يک سمت به سازه اعمال مي‌شود، لذا در واقع رفتار رفت و برگشتي در اين نوع تحليل وجود نخواهد داشت تا بتوان اثرات كاهش سختي و مقاومت را در آن در نظر گرفت. لذا براي حل اين مساله، از ضريبي در محاسبه تغييرمكان هدف استفاده شده است تا به جاي در نظر گرفتن اثرات كاهش سختي و مقاومت به صورت مستقيم، ميزان تغيير مكان هدف مورد تقاضا از سازه افزايش پيدا كند. دستورالعمل

FEMA-356[٤] و دستورالعمل بهسازي ساختمانهاي موجود[٢] در مورد اين ضريب براي قابهاي متوسط و ويژه تفاوتي قائل نشده است و در همه حالات اين ضريب را براي اين نوع قاب، واحد فرض كرده است. بنابراين به نظر مي‌رسد براي دستيابي به دقت بيشتر، ميزان اين ضريب براي قابهاي با شكل‌پذيري متوسط، نياز به تحقيق بيشتر مي‌باشد كه در اين مقاله اين مساله مورد مطالعه قرار گرفته است.



شكل (٢): منحني ايده‌آل سازي شده رفتار عضو

اين ضريب براي قابهاي بتن مسلح خمشي با شكل‌پذيري متوسط در دستورالعمل FEMA-356[٤] برابر يك مي‌باشد. در حاليكه اين مقدار مي‌تواند بنا به مشخصات اعضا و چرخه هيسترزيس مربوط به آنها متغير باشد.

در اين مقاله سعي شده است كه با تحليل ديناميكي غيرخطي بر روي سازه و استفاده از چرخه‌هاي هيسترزيس مختلف براي اعضاء و همچنين تحليل استاتيكي غيرخطي با مفاصل پلاستيك استاندارد، ميزان تأثير نوع چرخه‌هاي هيسترزيس و كاهش سختي و مقاومت بر روي محاسبه تغيير مكان هدف، برآورد گردد. براي تحليل ديناميكي غيرخطي از نرم‌افزار IDARC[٥] و براي تحليل استاتيكي غيرخطي از نرم‌افزار ETABS[٦] استفاده شده است.

٢- روش تحليل استاتيكي غيرخطي

تحليل استاتيكي غيرخطي بر اين اصل استوار است كه پاسخ سازه را مي‌توان با پاسخ سيستم يک درجه آزادي با مشخصه‌هاي معادل شده شبيه سازي كرد. اين فرض باعث مي‌شود كه پاسخ سازه، تنها وابسته به يک حالت (مود) تغييرشكل (حالت اول ارتعاشي) بوده و شكل آن در طول زمان تحليل ثابت باقي بماند. هرچند هردو فرض يادشده ممكن است نادرست به نظر برسد، ولي براي سازه‌هايي كه حالت (مود) اول نوسان بر پاسخ آنها غالب است، تخمين هاي خوب و مناسبي از بيشينه بازتاب هاي سيستم به كمک اين تحليل به دست مي‌آيد.

هدف از تحليل استاتيكي غير خطي بر آورد رفتار مورد انتظار يک سيستم سازه‌اي به كمک تخمين مقاومت و تغييرشكل مورد نياز، تحت اثر زلزله‌هاي طراحي و پس از آن مقايسه مقادير مورد نياز با ظرفيت‌هاي موجود در سطح رفتاري يا عملكردي مورد نظر است. تحليل استاتيكي غيرخطي بارافزون را مي‌توان روشي در تخمين نيرو و تغيير مكان تقاضا دانست كه به طريقي ساده عمل باز توزيع نيروهاي داخلي را در اعضايي كه نيروهايي بيش از نيروهاي حد الاستيک خود متحمل شده اند، انجام مي‌دهد. يكي از مهمترين نتايج اين تحليل، تعيين نمودار بار- تغييرمكان يا منحني ظرفيت است. براي رسم اين نمودار از مقادير برش پايه در مقابل تغيير مكان جانبي نقطه مرجع تراز بام استفاده مي‌شود. از اين نمودار مي‌توان براي تعيين تغييرمكان هدف استفاده نمود.

٢-١- شكل توزيع بار جانبي در ارتفاع ساختمان

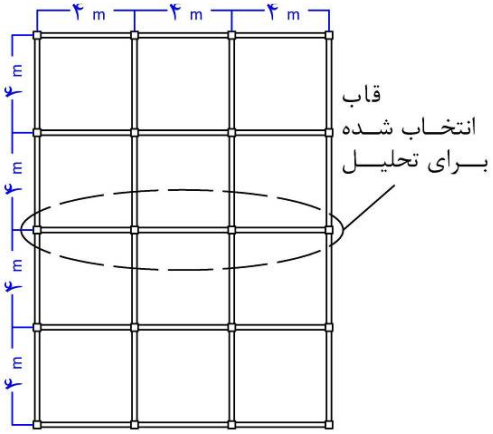
براي برآورد رفتاري يک ساختمان، انتخاب شكل توزيع بار مناسب يكي از مهمترين مراحل است. در حقيقت شكل بارگذاري جانبي نشان دهنده و عامل توزيع نيروهاي اينرسي در يک زلزله طرح است. روشن است كه توزيع نيروهاي جانبي براساس شدت زمين لرزه و در طول زمان تحريک زمين تغيير مي‌يابد. اگر تنها از يک شكل بارگذاري استفاده شود، فرض اساسي اين خواهد بود كه توزيع نيروهاي اينرسي در طول زمين لرزه ثابت بوده و بيشينه تغييرشكل هاي بدست آمده با آنچه كه وقوع آن در زلزله طرح انتظار مي رود قابل مقايسه خواهد بود. اين فرضيات در برخي موارد نزديک و در برخي موارد دور از واقعيت است. چنين فرضياتي وقتي به واقعيت نزديک هستند كه پاسخ سازه به طور قابل ملاحظه اي متاثر از اثر مودهاي ارتعاش بالاتر نباشد و ساختمان تنها داراي يک نوع ساز و كار كلي جاري شدن باشد.

در بعضي از حالات، اشكال بارگذاري جانبي تخمين‌هاي مناسبي از تغييرشكلهاي تقاضا فراهم مي‌آورند. محققين استفاده از حداقل دو شكل بارگذاري جانبي را پيشنهاد كرده‌اند[٤]. يكي اعمال بار گذاري يكنواخت است كه در آن نيروهاي طبقه متناسب با جرم طبقه اند و ديگري مي‌تواند شكل توزيع بارگذاري متناسب با مودهاي مختلف باشد.

٣- مشخصات سازه‌ها

سه قاب بتن مسلح با تعداد طبقات ٤، ٨ و ١٢ براي اين تحقيق در نظر گرفته شدند. اين قابها با در نظر گرفتن ضوابط

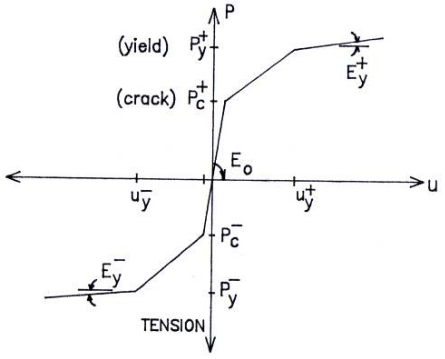
شكل‌پذيري متوسط براي مناطق با خطر لرزه خيزي خيلي زياد (طبق استاندارد ۲۸۰۰[۱]، PGA=۰/۳۵g) با استفاده از آئين‌نامه ACI318-05[۷] طراحي شدند. خاك ساختگاه اين سازه‌ها خاك نوعII ذكر شده در استاندارد ۲۸۰۰[۱] مي‌باشد (مشابه خاك نوع C در دستورالعمل FEMA-356[٤]) درشكل (۳) پلان ساختمان و قاب جدا شده از اين ساختمان آورده شده است. مقاومت فشاري بتن برابرMP ۲٤ و تنش تسليم فولاد برابر MP٤۰۰ فرض شده‌اند. بار مرده طبقات kg/m^2 ۷۰۰ و بار زنده kg/m^2 ۲۰۰ مي‌باشد. درصد مشاركت بارزنده در محاسبه نيروي زلزله، با توجه به فرض كاربري مسكوني براي ساختمان، برابر ۲۰% مي‌باشد. بنابراين با توجه به شكل (۳)، مقدار سهم بار اين قاب براي بار مرده برابر kg/m۲۸۰۰ و براي بار زنده برابر kg/m ۸۰۰ مي‌باشد.



شكل (۳): پلان ساختمان و قاب انتخاب شده براي تحليل

٤- مدلسازي رفتار هيسترزيس

مدل هيسترزيس استفاده شده براي بيان رفتار غيرخطي اعضا از مدل سه خطي همراه با مدل سه پارامتري براي منظور كردن اثرات كاهش سختي،مقاومت و باريك شدگي، تشكيل شده است[۸]. در شكل (۴) منحني پوش نيرو-تغييرمكان كه به صورت يك منحني سه خطي است، نشان داده شده است. همانطور كه مشاهده مي‌شود، نقاط شامل نقطه ترك‌خوردگي، نقطه جاري شدن و نقطه مقاومت نهايي مي‌باشند. براي منظور كردن اثر كاهش سختي از پارامتر α، كاهش مقاومت از پارامتر β و رفتار باريك شدگي از پارامتر γ استفاده شده است. درشكل (۶) مفهوم اين پارامترها و نحوه تأثير آنها نشان داده شده است. كاهش سختي كه با پارامتر α بيان شده است، با انتخاب يك نقطه مشترك روي امتداد شاخه اول منحني اسكلتي معرفي مي‌شود، بطوريكه خطوط بار برداري اين نقطه را نشانه گيري مي‌كنند تا به محور افقي برسند. اين پارامتر درجه كاهش سختي را مشخص مي‌كند و مهمتر از آن بيانگر

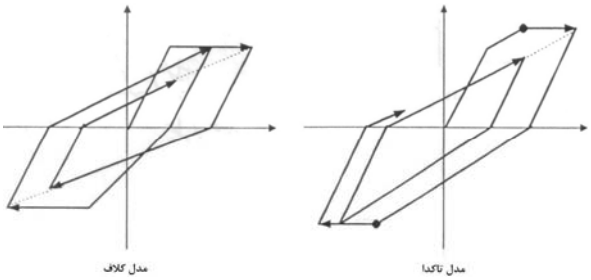


شكل (۴): منحني پوش سه خطي[۸]

كاهش سطح بسته حلقه‌هاي هيسترزيس مي‌باشد. كاهش مقاومت با پارامتر β معرفي شده است كه اين پارامتر بيانگر سرعت كاهش مقاومت مي‌باشد. اين پارامتر به صورت نسبت افزايش خسارت ناشي از افزايش پاسخ حداكثر $\frac{d\delta_m}{\delta_u}$ به افزايش انرژي هيسترتيك نرمال شده $\frac{dE}{\delta_u P_y}$ تعريف مي‌شود يعني:

$$\beta = \frac{d\delta_m / \delta_u}{dE/(\delta_u P_y)} = \frac{d\delta_m}{dE / P_y} \qquad (۱)$$

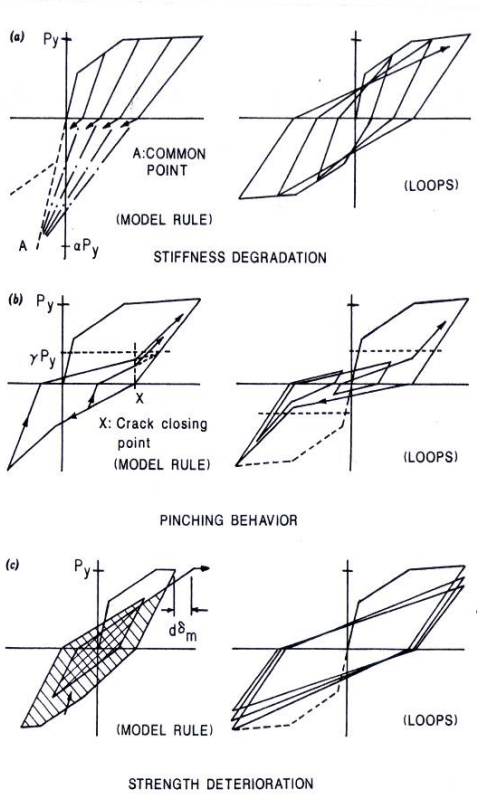
رفتار باريك شدگي نيز كه با پارامتر γ معرفي شده است مطابق شكل (۶) با پايين آوردن نقطه حداكثر تا تراز p_y ، γ در امتداد خط باربرداري قبلي معرفي مي‌شود. خطوط بارگذاري دوباره، نقطه هدف جديد را نشانه گيري مي‌كند تا به تغيير مكان نظير بسته شدن ترك برسند. اين رفتار باريك شونده ، همچنين به كاهش سطح حلقه‌هاي هيسترزيس و بطور غير مستقيم به كاهش ميزان اتلاف انرژي منجر مي‌شود. با استفاده از اين مدل سه پارامتري مي‌توان انواع مدلهاي هيسترزيس معرفي شده مانند مدل كلاف[۹] كه كاهش سختي مقاومت را در نظر نمي‌گيرد و يا مدل تا كدا[۱۰] كه اثرات كاهش سختي و مقاومت را در نظر مي‌گيرد، را بازسازي كرد. در اين تحقيق از ۳ حلقه هيسترزيس استفاده شده است. كلاف، تاكدا و مدلي كه پارامترهاي كاهش سختي و مقاومت و رفتار باريك شدگي آن، حداكثر مقادير معمول باشد. مدلهاي كلاف و تاكدا در شكل (۵) نشان داده شده‌اند.



شکل (۵): مدلهاي کلاف و تاکدا[۸]

۵- شتابنگاشتهاي ورودي

براي انجام تحليل ديناميکي غيرخطي از ۷ عدد شتابنگاشت استفاده شده است که فاصله آنها تا گسل بين ۱۰ تا ۲٤ کيلومتر مي‌باشد. تمامي اين شتابنگاشتها از خاك نوع II انتخاب شده‌اند و به گونه‌اي هستند که در آنها اثرات نزديکي به گسل و خاك نرم وجود نداشته باشد. براي اينکه بتوان از اين شتابنگاشتها در تحليل استفاده کرد، بايد مشخصات آنها با مشخصات ساختگاه همخواني داشته باشد. بنابراين بايد اين شتابنگاشتها به گونه‌اي مقياس شوند تا پاسخ آنها تا حد ممکن مشابه پاسخ زلزله‌هاي واقعي اتفاق افتاده در ساختگاه شود.



شکل (۶): نحوه اثر پارامترهاي α,β,γ در حلقه‌هاي هيسترزيس[۸]

۵-۱- مقياس کردن شتابنگاشتها

براي مقايسه اثر شتابنگاشتهايي که از زلزله هاي مختلف بدست آمده اند، لازم است آنها را همپايه کنيم تا اثرشان قابل مقايسه گردد. در اين تحقيق، جهت انجام تحليل هاي ديناميکي، شتابنگاشتهاي مورد استفاده به مقدار ۰/۳۵g مقياس شده اند. اکنون به روش به‌کاررفته براي مقياس کردن شتابنگاشت‌ها اشاره مي‌شود: کليه شتابنگاشت‌ها به مقدار حداکثر خود مقياس مي شوند. بدين معني که حداکثر شتاب همه آنها برابر شتاب ثقل g گردد. طيف پاسخ شتاب هريک از شتابنگاشت‌هاي مقياس شده با منظور کردن نسبت ميرايي۵ درصد تعيين مي‌گردد. سطح زير طيف پاسخ شتاب هريک از شتابنگاشت هاي مقياس شده در محدوده زمان هاي تناوب ۰/۱ و ۳ ثانيه بدست مي آيد. سپس سطح زير منحني ضريب بازتاب استاندارد ۲۸۰۰ (ويرايش سوم)[۱] مربوط به نوع خاک مورد نظر (در مطالعه انجام شده از خاک نوع دو استفاده شده است) ودر محدوده زماني اشاره شده بدست آمده وشتابنگاشت ها در نسبت مربوطه(سطح زير منحني طيف استاندارد ۲۸۰۰[۱] به سطح زير منحني طيف شتابنگاشتها) ضرب مي‌گردند. شتابنگاشت‌هاي توليد شده را مي‌توان به هرشتاب پايه‌اي ضرب کرد که در طرح انجام شده از شتاب پايه ۰/۳۵ استفاده شده است.

مشخصات اين شتابنگاشتها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات شتابنگاشتهاي استفاده شده

شماره رکورد	نام رکورد	سال وقوع	مقدار PGA واقعي (g)	مقدار PGA مقياس شده (g)
۱	KOBE	۱۹۹۵	۰/۸۲۱	۰/۴۴۶
۲	KOCAELI, TURKEY	۱۹۹۹	۰/۳۷۶	۰/۵۷
۳	LOMA PRIETA	۱۹۸۹	۰/۴۷۹	۰/۵۱۷
۴	NORTHRIDGE	۱۹۹۴	۰/۵۱۴	۰/۴۵
۵	N. PALM SPRINGS	۱۹۸۵	۰/۵۹۴	۰/۵۷۸
۶	CAPEMENDOCINO	۱۹۹۲	۰/۳۸۵	۰/۷۰۹
۷	SUPERSTITI HILLS	۱۹۸۷	۰/۳۷۷	۰/۴۵

٦- تحليل ديناميکي غيرخطي

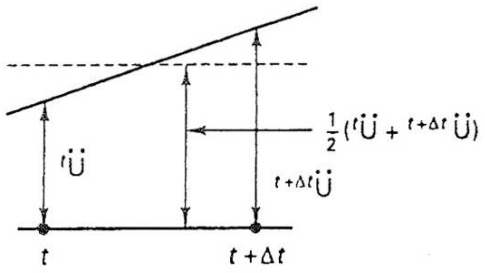
٦-۱- روش نيومارك براي تحليل ديناميکي

روش نيومارك به عنوان روش توسعه يافته شتاب‌خطي شناخته مي‌شود. فرضياتي در اين روش به کار رفته است[۱۱]:

$$\dot{U}_{t+\Delta t} = \dot{U}_t + [(1-\delta)\ddot{U}_t + \delta\ddot{U}_{t+\Delta t}]\Delta t \qquad (۲)$$

$$U_{t+\Delta t} = U_t + \dot{U}_t \Delta t + [(\frac{1}{2} - \alpha)\ddot{U}_t + \alpha \ddot{U}_{t+\Delta t}]\Delta t^2 \qquad (۳)$$

پارامترهاي α و δ، پارامترهايي هستند كه براي مشخص كرن دقت و پايداري روش به كار مي‌روند. وقتي $\delta = \frac{۱}{۲}$ و $\alpha = \frac{۱}{۶}$، روابط (۲) و (۳) به روابط شتاب خطي منجر مي‌شوند. نيومارك براي رسيدن به پايداري غيرمشروط روش شتاب ميانگين ثابت (روش ذوزنقه‌اي هم ناميده مي‌شود) را پيشنهاد كرده است كه در اين حالت $\delta = \frac{۱}{۲}$ و $\alpha = \frac{۱}{۴}$ مي‌باشند.



شكل (۷): روش شتاب ميانگين ثابت نيومارك [۱۱]

۶-۲- روش استفاده شده براي تحليل ديناميكي

تحليل ديناميكي غير ارتجاعي غيرخطي سازه بتن مسلح با استفاده از برنامه IDARC[۵] انجام شد. براي بيان رفتار غيرخطي اعضاء از منحني لنگر- انحناء اعضا كه با استفاده از منحنيهاي تنش كرنش بتن و فولاد و با توجه به ابعاد عضو، آرماتورگذاري و ميزان محصور شدگي به وسيله نرم‌افزار محاسبه شده است، استفاده شده است. همچنين از روش نيومارك براي انجام اين تحليل استفاده شده است و از مدلهاي هيسترزيس اشاره شده در بخش ٤ براي بيان رفتار هيسترتيك اعضاء استفاده شده است. نتايج حاصل از تحليل ديناميكي غيرخطي به همراه نتايج تحليل استاتيكي غيرخطي در) نشان داده شده اند.

۷- تحليل استاتيكي غيرخطي

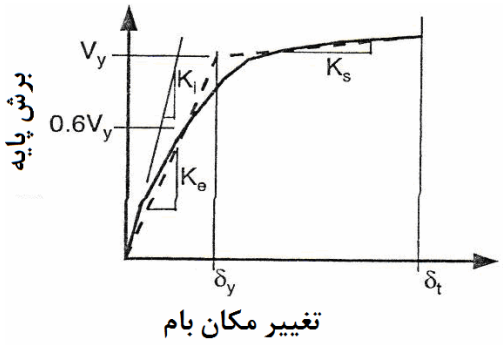
براي انجام تحليل استاتيكي غيرخطي از روش مبتني بر تغيير مكانها، مشابه دستورالعمل FEMA-356[٤]، استفاده شده است. در اين روش مدل غيرخطي سازه تا رسيدن به تغيير مكان خاصي كه تغيير مكان هدف ناميده مي‌شود، به وسيله الگوي بار مشخصي سمت داده مي‌شود. بعد از رسيدن به اين تغيير مكان ميزان تغيير شكلها و نيروهاي داخلي بدست آورده با مقادير مجاز آنها مقايسه مي‌شود. در اين روش تغيير مكان هدف كه بيانگر ميزان حداكثر تغيير مكاني است كه سازه طي يك بارگذاري مي‌تواند به آن برسد، با استفاده از مقدار حاصله از طيف منطقه در پريود مؤثر سازه، با اعمال ضرايب خاصي محاسبه مي‌شود.

۷-۱- محاسبه زمان تناوب اصلي موثر

زمان تناوب موثر پايه، T_e، در جهت در نظر گرفته شده را مي‌توان براساس مدل دوخطي بدست آورد:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \qquad (٤)$$

كه در آن T_i زمان تناوب اصلي ساختمان با فرض رفتار خطي است و K_i سختي جانبي ارتجاعي مطابق شكل (۸) است.



شكل (۸): منحني ساده شده نيرو- تغييرمكان [٤]

۷-۲- محا سبه تغييرمكان هد ف

در اين روش تغيير مكان هدف بصورت رابطه ۵ محاسبه مي‌شود:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \qquad (۵)$$

در ايـن رابطـه T_e مقـدار پريـود مـؤثر در جهـت مـورد مطالعـه مي‌باشد. S_a نيز مقدار طيف شتاب منطقه در پريود اصـلي مـؤثر سازه با مقدار ميرايـي مـشخص مـي‌باشـد. C_0 ضـريب اصـلاح براي ارتباط تغيير مكان طيفي سيستم يك درجه آزادي به تغيير مكان بام سيستم چند درجـه آزادي مـي‌باشـد و برابـر ضـريب مشاركت حالت (مود) اول مي‌باشد، كه بـراي سـازه‌هـاي مـورد مطالعه اين ضريب برابر ۱/۲ در نظر گرفته شده اسـت. ضـريب C_1 براي تبديل تغيير مكان طيفي غيرخطي به تغيير مكان حداكثر غيرخطي مـي‌باشـد. در صـورتيكه $T_e>T_0$ باشـد (كـه T_0 مقـدار پريود خاك منطقه مي‌باشد)، C_1 برابر ۱ در نظر گرفته مي‌شـود. بنابراين در سازه‌هاي مورد مطالعه اين ضـريب برابـر ۱ لحـاظ شده است. ضريب C_2 اثرات كاهش سـختي و مقاومـت اعـضاي سازه‌اي را بر تغيير مكانها به دليـل رفتـار غيـر ارتجـاعي آنهـا منظور مي‌كند. اين ضريب همانطور كه در تفـسير دسـتورالعمل

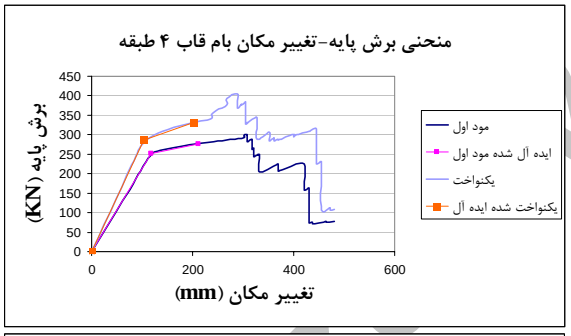
FEMA-356[٤] آمده است براساس قضاوت مي‌باشد. به دليل اينكه سازه‌هاي مورد مطالعه با شكل پذيري متوسط مي‌باشند، اين ضريب با توجه به جدول موجود در FEMA-356[٤] براي تمام سطوح عملكرد برابر ١ مي‌باشد. براي سازه‌هايي كه داراي حلقه هيسترزيس كامل و پايدار نباشند، حركات رفت و برگشتي سازه موجب گسترش خرابيها شده و علاوه بر كاهش سختي و افزايش تغيير شكلها، افت مقاومت را نيز به دنبال خواهد داشت. با توجه به اينكه اين ضريب برابر ١ در نظر گرفته شده است، در اين تحقيق با استفاده از چرخه‌هاي مختلف هيسترزيس و با استفاده از تحليل ديناميكي غيرخطي و مقايسه آن با تحليل استاتيكي غيرخطي، اين ضريب محاسبه مي‌شود. ضريب C_3 نيز اثر افزايش تغيير شكل جانبي سازه تحت اثر $P-\Delta$ در محدوده غيرخطي مصالح را بيان مي كند كه با توجه به اينكه سازه‌هاي مورد نظر داراي سختي بعد از تسليم مثبت هستند، اين ضريب نيز براي آنها برابر ١ منظور مي‌شود.

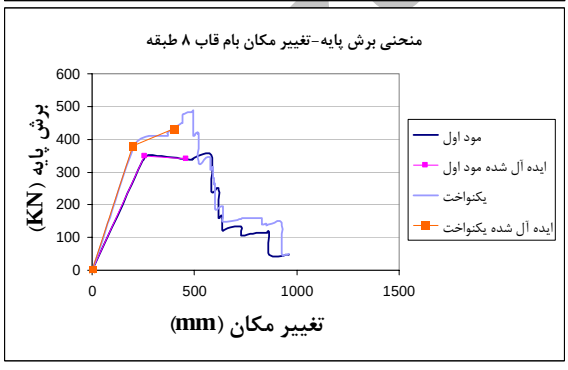
براي انجام آناليز استاتيكي غيرخطي مطابق FEMA-356[٤] از دو نوع الگوي بار استفاده مي‌شود: ١- الگوي بار مطابق با شكل حالت (مود) اول ٢- الگوي بار متناسب با جرم طبقات. بعد از انجام تحليل با استفاده از منحني‌هاي ظرفيت بدست آمده، و ايده‌آل‌سازي آنها به صورت منحني‌هاي دو خطي، مقدار تغيير مكان هدف محاسبه شده است. در شكل (٩) منحني ظرفيت سازه‌ها نشان داده شده است. همانطور كه مشاهده مي‌شود، در هر شكل ٤ نمودار رسم شده است كه به ترتيب نمودار ظرفيت بدست آمده از اعمال الگوي بار متناسب با حالت (مود) اول، نمودار دوخطي شده (ايده‌آل سازي شده) منحني قبل، نمودار ظرفيت بدست آمده از اعمال الگوي بار متناسب با جرم طبقات و نمودار دوخطي شده (ايده‌آل سازي شده) منحني قبل (الگوي بار متناسب با جرم طبقات) مي‌باشند. با بدست آوردن تغيير مكان هدف براي هريك از سازه‌ها مي‌توان نتايج تحليل استاتيكي غيرخطي را (به دليل در نظر گرفتن ضريب C_2 برابر واحد) معادل با نتايج تحليل ديناميكي غيرخطي با استفاده از مدل هيسترزيس بدون كاهش سختي و مقاومت كلاف فرض كرد بنابراين مي‌توان با بدست آوردن نسبت نتايج حاصل از هريك از تحليلهاي ديناميكي غيرخطي با مدلهاي داراي كاهش سختي و مقاومت به مدل كلاف، مقدار ضريب C_2 را تعيين نمود. نتايج درجدول (٢) نشان داده شده اند. در اين جدول نتايج بطور جداگانه براي تحليل ديناميكي غيرخطي با مدلهاي كلاف، تاكدا و مدل كاهش سختي و مقاومت شديد و همچنين براي تحليل استاتيكي غيرخطي نشان داده شده‌اند. براي بدست آوردن ضريب C_2، نتايج براي هريك از سازه‌ها محاسبه و ميانگين‌گيري شده‌اند. همانطور كه مشاهده مي‌شود ضريب C_2 محاسبه شده در تمام موارد بزرگتر از ١ مي‌باشد و بطور متوسط در صورت استفاده از مدل تاكدا حدود ٢٥/٣درصد بيشتر از ١ مي‌باشد.

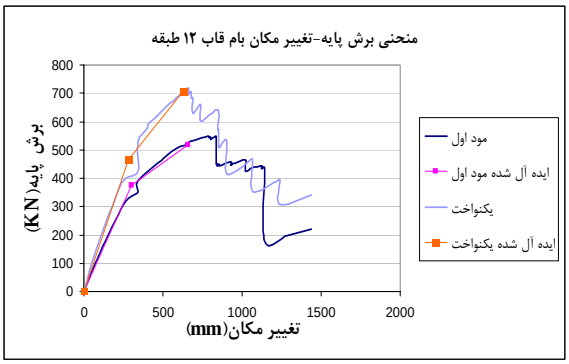
همين‌طور در حالتي كه سازه داراي چرخه هيسترزيس بسيار ناكامل و داراي كاهش سختي مقاومت و باريك شدگي زياد باشد اين ضريب بطور متوسط ٥١/٩ درصد بيشتر مي‌باشد.

٨- نتيجه‌گيري

تحليل استاتيكي غير خطي يك روش مؤثر و كارآمد براي پيش‌بيني لرزه‌اي سازه مي‌باشد كه به طور گسترده در روشهاي طراحي براساس تغيير مكان بكار مي‌رود. ولي به دليل اينكه اين روش تغيير رفتار غيرخطي اجزا ناشي از حركات رفت و برگشتي را منظور نمي‌كند، داراي تقريب مي‌باشد كه با در نظر گرفتن اين اثرات بصورت درست در ضريب مورد نظرمي‌توان اين مسأله را نيز منظور نمود.







شکل (۹): منحني‌هاي ظرفيت به دست آمده از تحليل استاتيكي غيرخطي

جدول (۲): نتايج حاصل از تحليل ديناميكي غيرخطي و استاتيكي غيرخطي

شتابنگاشت استفاده شده	قاب ۴ طبقه			قاب ۸ طبقه			قاب ۱۲ طبقه		
	Clough	Takeda	Severe	Clough	Takeda	Severe	Clough	Takeda	Severe
Kobe	۲۰۱/۱	۲۵۸/۳	۲۲۷/۹	۱۷۳/۲	۲۸۴/۴	۵۱۶/۵	۲۶۲/۶	۳۲۳/۱	۷۳۶/۸
Kocaeli	۱۶۷/۹	۲۶۲/۱	۳۶۶/۷	۴۰۰/۴	۴۶۲/۹	۵۲۸/۳	۵۵۴/۰	۵۳۸/۴	۸۴۳/۸
Lomap	۱۷۳/۴	۲۲۴/۳	۱۶۳/۷	۲۳۱/۴	۲۵۶/۱	۲۲۳/۲	۱۷۸/۶	۲۰۸/۱	۲۴۷/۹
Northridge	۱۸۵/۳	۲۷۲/۷	۲۷۶/۴	۲۹۶/۹	۴۵۰/۵	۴۴۳/۵	۳۳۳/۰	۳۵۳/۳	۳۷۶/۲
Palm Springs	۲۴۴/۷	۳۴۲/۱	۳۶۱/۹	۲۹۸/۷	۳۵۲/۹	۳۷۳/۶	۳۵۵/۲	۳۶۴/۰	۴۳۹/۰
Capemendocino	۱۴۳/۳	۱۵۷/۱	۲۱۸/۰	۱۸۰/۵	۲۴۳/۹	۲۵۹/۳	۲۲۰/۵	۳۲۴/۸	۴۳۵/۶
Superestiti hills	۲۰۰/۴	۲۷۷/۶	خرابي	۲۸۸/۱	۳۵۸/۰	۴۰۲/۸	۳۵۵/۶	۳۹۲/۵	۷۲۱/۴
ميانگين نتايج تحليل ديناميكي	۱۸۸/۰	۲۵۶/۳	۲۶۴/۱	۲۶۷/۰	۳۴۴/۱	۳۹۲/۵	۳۲۲/۸	۳۵۷/۷	۵۴۳/۰
تحليل استاتيكي با الگوي بار شكل مود اول	۲۱۰/۵۸			۴۶۰/۵۳			۶۵۹/۱۷		
تحليل استاتيكي با الگوي بار يكنواخت	۲۰۲/۱۶			۳۹۹/۷۷			۶۲۷/۵۳		
C_2	۱	۱/۳۶۳	۱/۴۰۵	۱	۱/۲۸۹	۱/۴۷	۱	۱/۱۰۸	۱/۶۸۲

از آنجا كه اين ضريب در بدست آوردن تغيير مكان هدف با عنوان C_2 بيان مي‌شود، لذا براي سازه‌هاي با شكل پذيري متوسط كه مقدار كاهش سختي و مقاومت آنها بصورت معمول است،با در نظر گرفتن مدل تاكدا، مقدار اين ضريب ۲۵/۳ درصد افزايش مي‌يابد. همچنين براي سازه‌هاي با شكل پذيري متوسط كه كاهش سختي و مقاومت و باريك‌شدگي آنها خيلي زياد باشد، اين ضريب حداكثر ۵۱/۹ درصد افزايش پيدا خواهد كرد. بنابراين مي‌توان با توجه به قاب متوسط طراحي شده موجود و نتايج اين تحقيق، اين ضريب را بطور متوسط برابر ۱/۲۵اختيار كرد.

۹- مراجع

[۱] آيين نامه طراحي ساختمان ها در برابر زلزله – استاندارد ۲۸۰۰ – مركز تحقيقات ساختمان و مسكن، ويرايش سوم، ۱۳۸۴.

[۲] دستورالعمل بهسازي لرزه اي ساختمانهاي موجود، سازمان مديريت و برنامه ريزي كشور، دفتر امور فني و تدوين معيارها، خرداد ۱۳۸۱ .

[۳] Applied Technology Council; Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, ATC-40 Report, Redwood City, California, 1996.

[۴] Federal Emergency Mnagement Agency; Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA356, Washington, D.C., 2000.

[۵] Kunnath, S. K.; Reinhorn, A. M.; Lobo, R. F.; “IDARC: A Program for the Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Structures”,

Report No. NCEER-92-0022, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, 1992.

[۶] Computer & Structures Inc., “Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Building Systems Users Guide, ETABS Ver. 9”, Berkeley, California, 2005.

[۷] ACI Committee 318, " Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318M-05)", American Concrete Institute.

[۸] Park, Y.J., Reinhorn,A.M., Kunnath,S.K., "IDARC: Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Framed-Shear Wall Structures", NCEER-87-0008, 1987.

[۹] Clough, R.W., Benuska, K.L. and Wilson, E.L., "Inelastic Earthquake Response of Tall Buildings", Proceedings, Third World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, Vol.11, New Zealand National Committee on Earthquake Engineering, 1965.

[۱۰] Takeda, T., Sozen,M.A. and Nielsen, N.N., "Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 96, ST12, Dec. 1970.

[۱۱] Bathe,K.J, "Finite Element Procedure", Prentice-Hall, 1996